

بررسی کاربرد دستگاه کینکت در تعیین مدل رقومی بستر آبراهه‌های شنی در مقیاس سنگ‌دانه‌ها (مطالعه موردی: بستر رودخانه کردان)

هادی بالی^۱، سیدحسین مهاجری^۲ و امیر صمدی^{۳*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران-آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۳۰

چکیده

تأثیر مورفولوژیکی بستر رودخانه‌ها و کانال‌های انتقال آب بر شرایط زیست‌محیطی و هیدرولیکی از موضوعاتی است که همواره درباره آن بحث می‌شود. از آنجاکه بسترهای شنی رودخانه‌ها و کانال‌ها حاوی ویژگی‌های بیولوژیکی و هیدرولیکی منحصر به فرد هستند، مطالعه ساختار بستر و توزیع ارتفاعی آن و تأثیرگذاری آن بر شرایط مختلف اکولوژیکی و هیدرولیکی بسیار با اهمیت است. به منظور تعیین مدل رقومی چنین رودخانه‌هایی، امروزه استفاده از روش‌های نوین در مطالعات مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه، کاربرد دستگاه کینکت در تعیین مدل رقومی بسترهای شنی بررسی و ارزیابی شده است. به این منظور برداشت‌هایی در بسترهای مصنوعی در مقیاس آزمایشگاهی صورت پذیرفت و پس از آن، کاربرد این روش در تعیین بستر شنی رودخانه کردان، یکی از رودخانه‌های قرار گرفته در اقلیم خشک و نیمه‌خشک نواحی مرکزی ایران و تحت تابش نور خورشید، ارزیابی شد. بررسی‌ها نشان داد که قابلیت این دستگاه در ساخت مدل رقومی به رنگ، ابعاد و جنس مصالح بستگی دارد. همچنین مشاهده شد که این دستگاه قادر است با دقت نسبی کمتر از ۲۰ و ۴۰ درصد در بسترهای دارای شکل‌های هندسی به ترتیب منظم و نامنظم، مدل رقومی را برآورد کند. با این همه، نتایج حاصل از کاربرد این دستگاه در مطالعات میدانی بیانگر اثر زیاد پرتو فرسوخ (مادون قرمز) موجود در محیط و اثر منفی سایه در فضای بین سنگدانه‌هاست که کاربرد این دستگاه را در مطالعات میدانی با چالش مواجه می‌سازد. بررسی‌ها، به‌طور مشخص، نشان داد که با ایجاد سایه در مطالعات میدانی تعداد ابر نقاط ساخته شده در سطح نمونه برداشت شده، از حدود ۳۳۵۰۰۰ نقطه به حدود ۴۲۵۰۰۰ نقطه افزایش می‌یابد که نشانه‌ای است از بهبود کیفیت به میزان ۲۶ درصد. به منظور رفع این نقیصه و کاربردی‌کردی دستگاه کینکت در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد شده است برداشت‌های میدانی با استفاده از اتاقک تاریک یا در شرایط آب و هوایی ابری-بارانی دنبال شود.

واژه‌های کلیدی

آنالیز خطا، رودخانه بستر شنی، رویکرد نقطه به نقطه، مدل رقومی ارتفاع

گیاهی و نوع آبزیان موجود در آنها، شرایط متفاوتی دارند. رودخانه‌های دارای بستر شنی را از لحاظ بیولوژیکی و هیدرولیکی می‌توان از مهم‌ترین رودخانه‌ها دانست (Biggs & Close, 1989). اهمیت

مقدمه
یکی از منابع آبی اصلی تأثیرگذار بر محیط‌زیست، رودخانه‌ها هستند که با دارا بودن شرایط اکولوژیکی مختلف در بستر، به لحاظ پوشش

تنوع بسترهای شنی و ساختار آنها در مدل رقومی بستر، عاملی تعیین‌کننده در پخش مکانی آبریزان رودخانه‌هاست. مطالعه مدل رقومی بستر به منظور بررسی زبری بسترهای شنی رودخانه‌ها، به لحاظ هیدرولیکی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. در مطالعات هیدرولیکی، خصوصیات بستر زبر را با ضریب زبری مشخص می‌کنند. این ضریب که به‌طور مستقیم در تحلیل عملکرد بستر و شرایط هیدرولیکی جریان استفاده می‌شود، با توجه به رویکرد نوین نقطه به نقطه، با استفاده از بررسی خصوصیات آماری بسترهای شنی تعیین می‌شود که با استفاده از مطالعه مدل‌های رقومی بستر امکان‌پذیر خواهد شد (Mohajeri et al., 2014).

امکان مطالعه مدل رقومی بستر^۱ یا همان DEM در مقیاس‌های مختلفی وجود دارد. این مقیاس‌ها عبارت‌اند از: ۱- مقیاس سنگدانه‌ها^۲، ۲- مقیاس بخشی از بستر^۳، ۳- مقیاس بخشی از رودخانه^۴ و ۴- مقیاس حوزه آبخیز^۵. تعیین و مطالعه مدل رقومی بستر در هر یک از مقیاس‌های فوق‌الذکر اهمیت خاص خود را دارد. بررسی خصوصیات سنگدانه‌ها می‌تواند به درک بهتر ذرات رسوبی و نوع رسوب‌گذاری منجر شود. مطالعه بستر در بخش‌های مختلف رودخانه‌ها به درک عمیق‌تر از نوع تأثیر بسترها بر رفتار هیدرولیکی جریان و همچنین شرایط زیست محیطی رودخانه‌ها و نیز حوضه مورد مطالعه می‌انجامد. بسترهای شنی رودخانه‌ها تنوع زیادی بسیار بالایی دارند. بررسی‌ها نشان داده است که با تغییر ساختار بستر، تنوع زیستی آن نیز دستخوش تغییرات می‌گردد (Hauer et al., 2016). بسترهای شنی مکانی مناسب برای تخم‌گذاری ماهی‌ها به‌شمار می‌روند و بنابراین تعیین مدل رقومی آنها از این‌رو نیز با اهمیت است (Kondolf et

این رودخانه‌ها از آنجا ناشی می‌شود که محیط مرطوب و وجود سنگدانه‌ها تأثیر زیادی در به‌وجود آمدن پوشش‌های گیاهی متنوع در بستر آنها دارد. ارتفاع و اندازه سنگدانه‌ها در بسترهای شنی از فاکتورهای مهم در نوع گیاهان رشد یافته در این بسترها هستند (Kalinkova et al., 2018). بسترهای شنی رودخانه‌ها و نوع رسوبات در این بسترها می‌توانند به‌طور مستقیم روی محل زندگی آبریزان از جمله انواع ماهی‌های رودخانه‌ای یا موجودات بسیار ریز در بستر رودخانه‌ها تأثیرگذار باشند. بنابر این، مطالعه بسترهای شنی رودخانه‌ها در درک بهتر شرایط اکولوژیکی آنها بسیار مهم است (Wharton et al., 2017).

در سال‌های اخیر با پیشرفت علم کامپیوتر، امکان بررسی مدل‌های رقومی^۱ که با روش‌های مختلفی تهیه می‌شوند، فراهم شده است. امروزه مدل‌های رقومی تهیه شده برای بررسی و تحلیل عملکرد بسترهای شنی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند تا جایی که برخی از کارشناسان این مدل‌ها را جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی مانند منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌ها در تعیین خصوصیات بسترهای شنی می‌دانند (Nikora et al., 1998; Aberle & Nikora, 2006). بسترهای شنی از جنبه‌های مختلف اهمیت دارد. از نظر ژئومورفولوژی، در رودخانه‌های شنی چنانچه سنگدانه‌های شنی بستر رودخانه به یکدیگر بچسبند، ذرات ریز ماسه در بین ذرات درشت‌دانه‌تر شنی محبوس می‌مانند و باعث افزایش رسوب‌گذاری در بسترهای شنی رودخانه‌ها می‌شوند. بستر رودخانه‌های شنی از لحاظ بیولوژیکی، نیز به دلیل وجود آبریزان مختلف در بستر این رودخانه‌ها، بسیار با اهمیت است (Quinn & Hickey, 1994). از این‌رو

1- Digital Elevation Model

3- Meso Scale

5- Catchment Scale

2- Fine Grain Scale

4- Reach Scale

همکاران (Chavez *et al.*, 2014) قابلیت دستگاه کینکت را در تعیین منحنی دانه‌بندی بسترهای شنی بررسی کردند، اما این بررسی محدود به منحنی دانه‌بندی بود و توانایی دستگاه کینکت در تعیین مدل رقومی بسترهای شنی عملاً مطالعه نشد. نیکلسون و همکاران (Nicholson *et al.*, 2016) از این فناوری به منظور اندازه‌گیری میزان تغییرات برف‌های یخ زده در ارتفاعات قطب شمال استفاده کرده‌اند. کلوپفر و همکاران (Klopfer *et al.*, 2017) با استفاده از دو نوع خاص دستگاه کینکت (Kinect Xbox One و Kinect Xbox 360) استخراج بسیمتری بستر در آب‌های کم عمق را بررسی و ارزیابی کردند و در خلال آن، با تهیه مدل رقومی بستر توسط کینکت و روابط هندسی و همچنین رابطه اسنل در ارتباط با پدیده شکست آب، محاسباتی در خصوص اندازه‌گیری ارتفاع آب ارائه دادند. مسعودی و همکاران (Masoodi *et al.*, 2018) از دستگاه کینکت برای اندازه‌گیری و ارزیابی تغییرات در سواحل اطراف رودخانه‌ها بر اثر فرسایش درونی و محاسبه میزان فرسایش در آنها استفاده کردند. بنتو و همکاران (Bento *et al.*, 2018) نیز با تهیه مدل رقومی به کمک دستگاه کینکت، توانستند روشی نوین به منظور بررسی میزان آبشستگی پایه پل‌ها ارائه دهند. توسلی و همکاران (Toselli *et al.*, 2019) با استفاده از دستگاه کینکت و تهیه مدل رقومی، خصوصیات موج در آب‌های سطحی را در فضای دو بعدی بررسی کرده‌اند.

با توجه به ویژگی‌های خاص دستگاه کینکت و به‌طور خاص سادگی آن، بررسی قابلیت کاربرد و نیز کارایی این دستگاه در رودخانه‌ها در مقیاس بزرگ اهمیت فراوانی دارد. در این مطالعه، قابلیت دستگاه کینکت در تعیین مدل رقومی بستر شنی رودخانه

(al., 1993) مطالعات پیشین نشان داده‌اند که بسترهای شنی رودخانه‌ها بر نوع و توزیع پوشش گیاهی بستر رودخانه‌ها و به تبع آن بر خصوصیات آشفتگی جریان رودخانه‌ها نیز تأثیرگذارند (Keramaris & Pechlivanidis, 2015). از این‌رو، مطالعه مدل رقومی بسترهای شنی رودخانه‌ها در مقیاس بخشی از رودخانه بسیار بااهمیت است.

امروزه پیشرفت‌ها در علم کامپیوتر و ترکیب آن با علوم مهندسی، از جمله مهندسی رودخانه، منجر به بروز روش‌های نوین در این زمینه شده است. از این روش‌ها می‌توان به استفاده از لیزر اسکنر (Mohajeri *et al.*, 2014) و روش ساختار ناشی از حرکت اشاره کرد (Zamani *et al.*, 2019). یکی از دستگاه‌هایی که امروزه به صورت گسترده به کار می‌رود، دستگاه کینکت^۱ است. این دستگاه (شکل ۱-الف)، برای اولین بار در سال ۲۰۱۰ میلادی در شرکت مایکروسافت و به‌عنوان یک کنسول بازی ارائه شد، اما به سرعت مورد توجه محققان در علوم مختلف قرار گرفت (Mankoff & Russo, 2012; Butkiewicz, Bento *et al.*, 2014; 2018).

استفاده از دستگاه کینکت برای اهداف علمی، اولین بار توسط دیوید منکوف در سال ۲۰۱۳ به‌عنوان ابزاری ارزان با دقت بالا و یک سنسور به‌منظور تهیه مدل‌های سه بعدی معرفی شد که می‌تواند در طیفی وسیع از مطالعات علمی مانند مطالعات زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و بسیمتری به‌کار رود (Mankoff & Russo, 2012). در سال ۲۰۱۴ در تحقیقی زیر نظر دانشگاه نیو همپشایر^۲ آمریکا، با استفاده از دستگاه کینکت، مدل رقومی نواحی ساحلی ساخته و مدل سه بعدی آنها تهیه شد (Butkiewicz, 2014). در مطالعه‌ای دیگر، چاوز و

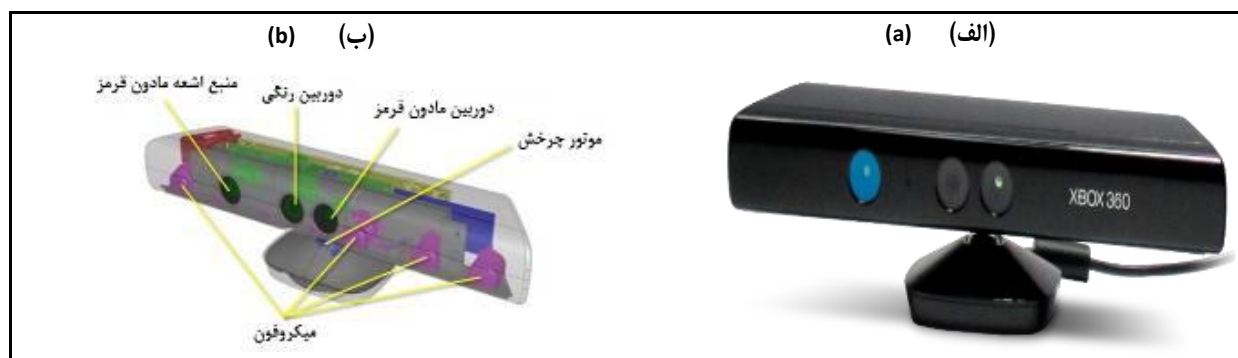
1- Kinect Xbox 360

2- University of New Hampshire

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، از دستگاه کینکت مدل ایکس باکس ۳۶۰، به منظور تهیه مدل رقومی استفاده شده است. بخش‌های دستگاه کینکت (شکل ۱-ب) شامل یک دوربین رنگی، یک دوربین مادون قرمز و یک منبع ساطع کننده پرتو فروسرخ (مادون قرمز) است. این دستگاه دارای یک موتور چرخاننده چرخاندن دستگاه و چندین میکروفون است که می‌تواند صدای محیط را دریافت کند. قابلیت شبیه‌سازی سطوح سه بعدی با دقت بالا و با استفاده از فناوری پرتو فروسرخ (مادون قرمز) و امکان حمل آسان، از جمله خصوصیات این دستگاه است که دامنه کاربرد آن را فراتر از یک کنسول بازی و به عنوان ابزاری برای تهیه مدل رقومی گسترش داده است (Khoshelham & Elbernik, 2012).

کردان به عنوان روشی برای تعیین زبری بستر رودخانه‌های طبیعی بررسی و تلاش شده است تا با مقایسه خطای متوسط و نسبی مدل‌های رقومی تهیه شده با کینکت و مدل‌های تئوری، برای نخستین بار قابلیت کاربرد این دستگاه در محیط طبیعی رودخانه‌های موجود در اقلیم خشک و نیمه خشک و تحت تابش مستقیم نور خورشید، بررسی شود. بررسی کاربرد این دستگاه در شرایط نوری مختلف به لحاظ میزان تابش نور خورشید (آسمان بدون ابر یا ابری-بارانی)، یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار، از دیگر مواردی است که بیانگر ضرورت مطالعه حاضر است. نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان برای رودخانه‌های دیگر با شرایط مورفولوژیکی و ژئومورفولوژیکی مشابه بسط داد. بدین منظور، در این مطالعه، بستر شنی در دو بخش آزمایشگاهی و میدانی بررسی شده است.



شکل ۱- الف) نمای از دستگاه کینکت Microsoft Xbox 360، ب) اجزای تشکیل دهنده دستگاه کینکت

Fig. 1- a) An overview of the Microsoft Xbox 360 Kinect device and b) The components of the Kinect device

حدود ۷۵ میلی‌متر در فاصله ۵ متر) را داراست. زاویه دید سنسور ۵۷ درجه افقی و ۴۳ درجه عمودی است (Mankoff & Russo, 2012). سنسور کینکت دارای این قابلیت است که به طور همزمان تصویرهای رنگی و عمقی را در یک فریم با سرعت بیش از ۳۰ fps (۳۰ عدد عکس در هر ثانیه) بگیرد. مجموع داده‌های عمق و رنگ یک ابر نقاط رنگی را ایجاد می‌کند که حدود ۳۰۰,۰۰۰ نقطه در هر فریم

قیمت این دستگاه در حدود ۱۰۰ دلار، دامنه فرکانس اشعه ارسال شده در محدوده ۹ تا ۳۰ هرتز (Hz)، دقت داده‌های مکانی و ارتفاعی در حدود میلی‌متر تا سانتی‌متر و بهترین دامنه عملکرد آن بین ۵۰ سانتی‌متر تا ۵ متر است. این دستگاه قابلیت تهیه اطلاعات سه بعدی با دقت مکانی (x,y) بالا (۲ تا ۲۰ میلی‌متر) و دقت ارتفاعی (z) بالا (خطای حدود ۱ میلی‌متر در فاصله ۵۰ سانتی‌متر و خطای

ساخته شدند. بستر اول (شکل ۲-الف)، شامل چهار نیمکره با قطر قاعده ۲۸ میلی‌متر است از جنس سیمان و با آرایش بدون فاصله روی صفحه زمین، که از قبل و متناسب با ابعاد نیمکره‌ها ساخته شد. بستر دوم (شکل ۲-ب)، متشکل از همان نیمکره‌های سیمانی اما این بار با آرایش غیرمتراکم است. بستر سوم (شکل ۲-ج)، از چهار نیمکره با قطر قاعده ۶۰ میلی‌متر تهیه گردید که با استفاده از پرینتر سه بعدی با تکنولوژی FDM ساخته و با آرایش متراکم روی صفحه زمین قرار داده شده‌اند.

در سناریوی دوم شبیه‌سازی، به منظور بررسی قابلیت‌های دستگاه کینکت در شبیه‌سازی محیط طبیعی بسترهای رودخانه‌های شنی، با جمع‌آوری سنگدانه از بستر طبیعی رودخانه‌های شنی و چسباندن آنها روی صفحات چوبی با ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر، بسترهای مصنوعی شنی تهیه شدند. بسترهای مصنوعی شنی با دو آرایش بستر، یکی دارای سنگدانه‌های متراکم (شکل ۳-الف) و دیگری دارای سنگدانه‌های غیرمتراکم (شکل ۳-ب) ساخته شدند؛ مدل رقومی آنها با دستگاه کینکت تهیه گردید.

پس از برداشت اطلاعات از بسترها با دستگاه کینکت، باید مدل رقومی بستر نیز با نرم‌افزارهای پس پردازش تهیه گردد. از بین نرم‌افزارهای موجود نرم‌افزار اسکنکت^۱ انتخاب و نتایج به دست آمده تحلیل شد. این نرم‌افزار با ویژگی‌هایی از قبیل گرافیک بالا، بررسی دقیق سطوح تصویر، سنسورهای حساس با کمترین میزان خطا و قابلیت تولید ابر نقاط، محیطی قدرتمند برای استفاده از دستگاه کینکت به شمار می‌رود.

به منظور صحت‌سنجی و تعیین دقت مدل‌های ساخته شده، نیاز به تعیین مدل رقومی از روش

دارد که البته با ثبت تصویرهای عمق متوالی می‌توان تراکم نقاط را افزایش داد یا یک ابر نقاط کامل را به صورت آنی تولید کرد. حداقل فاصله برای کینکت حدود ۰/۴ متر و حداکثر آن بین ۴-۵ متر است (Khoshelham & Elbernik, 2012; Pagliari & Pinto, 2015). در این مطالعه، محل قرار گرفتن دستگاه کینکت تا بستر در حد فاصل ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است تا ضمن حصول کمترین میزان خطا، تمام مرزهای بستر در زاویه دید دوربین کینکت قرار گیرد.

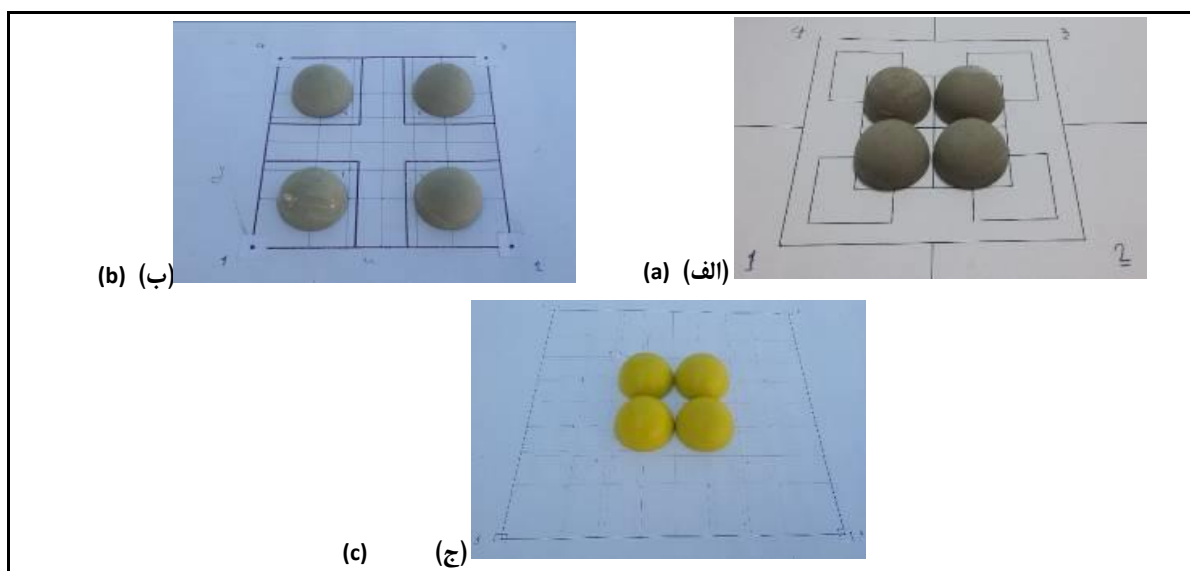
به منظور بررسی قابلیت دستگاه کینکت در تعیین مدل رقومی بستر رودخانه‌های شنی، دو بخش آزمایشگاهی و میدانی تعریف شد. هدف از این تقسیم بندی آن بود که اولاً بتوان تفاوت قابلیت دستگاه کینکت در یک محیط تحت کنترل آزمایشگاهی را با شرایط طبیعی مقایسه کرد. ثانیاً شرایط بهینه به منظور برداشت‌ها در آزمایشگاه تعیین و در بخش میدانی به کار برده شود. بر همین اساس، در بخش اول به بررسی و صحت‌سنجی روش مورد استفاده در آزمایشگاه پرداخته شد و در بخش دوم کاربرد آن در محیط طبیعی بستر رودخانه‌ها بررسی گردید.

الف) بخش آزمایشگاهی

هدف اصلی در بررسی آزمایشگاهی، تعیین صحت نتایج برداشتی توسط کینکت و قابلیت کاربرد این دستگاه است. به این منظور، دو سناریوی شبیه‌سازی بستر تدوین گردید. نخست بسترهای دارای اجسام با شکل‌های هندسی منظم تهیه شدند. دلیل انتخاب شکل‌های هندسی منظم، مشخص بودن معادلات ریاضی سطوح آنها، به منظور صحت‌سنجی مدل رقومی تهیه شده است. بدین منظور، نیمکره‌هایی با ابعاد و مواد مختلف

مدل رقومی در حدود ۵ تا ۱۵ میکرون برآورد شده است (Cited in www.solutionix.co.uk). تعیین خطا و قابلیت روش کینکت در تعیین مدل رقومی بستر در نرم‌افزار MATLAB اجرا شد. در این ارتباط، برنامه‌ای نوشته شد که در آن نتایج مدل ساخته شده در کینکت با مدل به‌دست آمده از اسکنر و مدل تئوری بستر با یکدیگر مقایسه شوند؛ پس از آن، نتایج قیاس دو مدل رقومی تهیه شده بررسی و تجزیه تحلیل شد.

دیگری برای مقایسه است. به این منظور، برای بسترهای دارای شکل‌های هندسی منظم با استفاده از روابط ریاضی مثل رابطه نیمکره، مدل تئوری بستر در نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شد. از آنجا که مدل تئوری در بستر شنی، به دلیل مشخص نبودن رابطه‌ای خاص برای شبیه‌سازی سطوح آن، با این روش قابل توسعه نیست، از دستگاه اسکن سه بعدی مدل سلوشن آی ایکس^۱ برای تهیه مدل رقومی با کیفیت بالا استفاده شد. دقت این دستگاه در تهیه

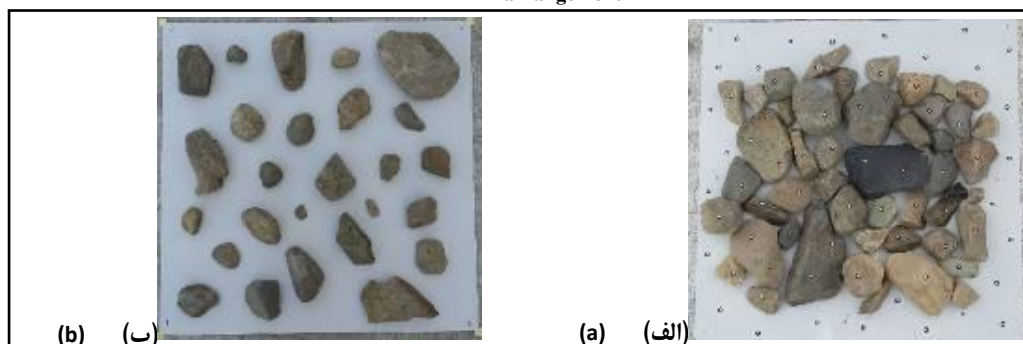


شکل ۲- بسترهای دارای شکل‌های هندسی منظم

الف) بستر متشکل از نیمکره‌های سیمانی با قطر قاعده ۲۸ میلی‌متر با آرایش متراکم، ب) بستر متشکل از نیمکره‌های سیمانی با قطر قاعده ۲۸ میلی‌متر با آرایش غیر متراکم و ج) بستر متشکل از نیمکره‌های پلاستیکی با قطر قاعده ۶۰ میلی‌متر با آرایش متراکم

Fig. 2- Beds with regular geometrical shapes

a) A bed consisting of 28 mm-diameter cement hemispheres with a dense arrangement, b) A bed consisting of 28 mm-diameter cement hemispheres with a non-dense arrangement and c) A bed consisting of 60 mm-diameter plastic hemispheres with a dense arrangement



شکل ۳- بسترهای شنی مصنوعی الف) بستر شنی مصنوعی با آرایش متراکم و ب) بستر شنی مصنوعی با آرایش غیرمتراکم

Fig. 3- Artificial sand beds

a) Artificial sand bed with a dense arrangement and b) Artificial sand bed with a non-dense arrangement

ب) بخش میدانی

رودخانه کردان بررسی و از آنها بازدید شد و سرانجام بستر این رودخانه در محدوده روستای عباس آباد از توابع شهر هشتگرد در استان البرز، انتخاب گردید که در غرب استان البرز و در مختصات $35^{\circ} 52' 00.1''N$ و $50^{\circ} 43' 18.6''E$ پایین دست راه آهن سراسری تهران- تبریز و پس از معادن شن و ماسه قرار دارد که غالباً از مصالح درشت دانه تشکیل شده است. این محدوده در ۱۰۰ تا ۵۰۰ متری بالادست پل اصلی روستای عباس آباد بزرگ قرار دارد که در اکثر فصل های سال خشک است. در شکل ۴، موقعیت مکانی محل مورد مطالعه و تصویر ماهواره ای محل مورد مطالعه (شکل ۴-الف) و نمایی از بستر رودخانه کردان در محل انتخاب شده برای برداشت مدل رقومی (شکل ۴-ب)، نمایش داده شده است.

پس از صحت سنجی روش ارائه شده، مطالعات در فاز میدانی و در محیط طبیعی بسترهای شنی رودخانه ها دنبال گردید. بر این اساس، رودخانه کردان برای بررسی فاز میدانی انتخاب شد. رودخانه کردان یکی از شاخه های مهم رودخانه شور است که در منطقه کرج جریان دارد و حوزه آبخیز آن در شمال شرقی حوضه رودخانه شور واقع است. مساحت این حوضه در حدود ۱۲۸۹ کیلومتر مربع و میزان متوسط بارندگی سالانه آن در حدود ۳۵۶ میلی متر است. این رودخانه پس از خروج از دامنه های البرز میانی به جلگه های شرقی هشتگرد وارد می شود و سرانجام در شرق مردآباد کرج به رودخانه شور می پیوندد.

در این مطالعه، گزینه های مختلف در محدوده



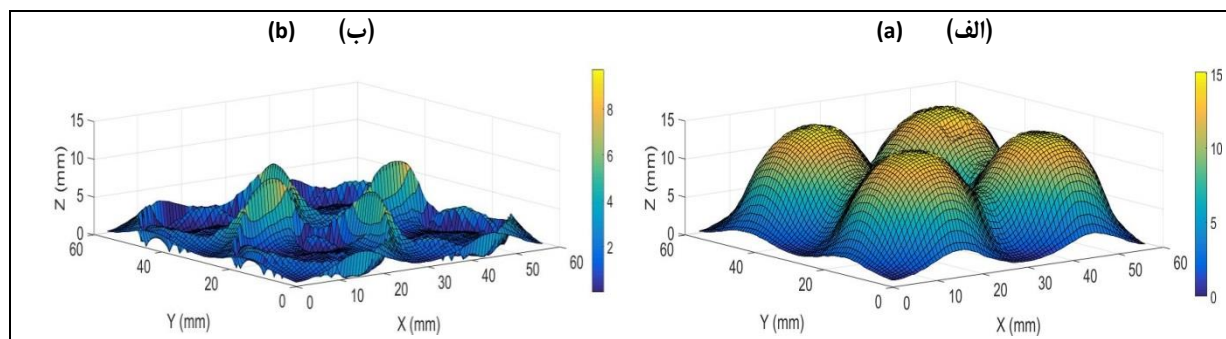
شکل ۴- الف) تصویر ماهواره ای محل مورد مطالعه و ب) نمایی از بستر رودخانه کردان در محل انتخاب شده برای مطالعات میدانی
Fig. 4- a) Satellite image of the study site and b) A view of the Kordan river bed at the site selected for field studies

مصنوعی و طبیعی، نتایج به‌دست آمده تحلیل و بررسی شد. این تحلیل‌ها شامل دو بخش اصلی تحلیل نتایج در مقیاس آزمایشگاهی و تحلیل نتایج در مقیاس میدانی بودند. در ابتدای بررسی‌ها در بخش آزمایشگاهی، مدل رقومی در بسترهای منظم بررسی گردید. مدل رقومی تهیه شده از بستر دارای نیمکره‌های سیمانی با قطر قاعده ۲۸ میلی‌متر به هم چسبیده (شکل ۲-الف)، با دستگاه کینکت در شکل ۵-الف نمایش داده شده است. از این شکل برداشت می‌شود که کیفیت مدل رقومی ساخته شده، به‌خصوص در برآمدگی‌ها، مناسب است. برای بررسی کمی این مشاهده، اختلاف مدل تئوری (که در برنامه MATLAB توسعه داده شده است) با مدل رقومی برداشت شده در شکل ۵-ب نمایش داده شده است.

پس از انتخاب محل مورد نظر، با استفاده از دستگاه کینکت بستر طبیعی رودخانه برداشت و مدل رقومی آن تهیه شد. از یک ژنراتور بنزینی، برق مورد نیاز برای دستگاه تامین و پس از اتصال آن به رایانه همراه، برداشت با حرکت دادن دستگاه کینکت به آرامی حول بستر مورد نظر دنبال شد. برای کنترل پرتوهای فرسوخ (مادون قرمز) موجود در محیط (نور خورشید)، از یک چتر تیره برای تولید سایه مصنوعی استفاده شد. زیر نور خورشید امکان استفاده از پرتو فرسوخ دستگاه وجود ندارد و این نور باید به‌نحوی از دستگاه و مسیر حرکت پرتو آن دور شود.

نتایج و بحث

پس از تهیه مدل‌های رقومی از بسترهای



شکل ۵- مدل رقومی بستر دارای نیمکره‌های سیمانی

الف) مدل رقومی تهیه شده از بستر با دستگاه کینکت و ب) اختلاف دو مدل رقومی و تئوری

Fig. 5- Digital model of the bed with cement hemispheres

a) Digital model made of bed with Kinect device and b) The difference between the digital and theory models

کینکت از نظر کیفی با دقت مناسبی مدل رقومی بستر را ساخته است. به‌منظور بررسی دقیق‌تر باید مقدار اختلاف مدل ساخته شده با مدل واقعی تعیین شود. به این منظور، مقادیر متوسط خطای مطلق، متوسط خطای نسبی و انحراف از معیار خطا به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند:

در شکل ۵-ب متوسط خطای مطلق در این حالت در حدود ۱/۵۸ میلی‌متر است، اما توزیع مکانی خطا در فاصله‌های بین نیمکره‌های بستر بسیار زیادتر است و روی سطوح بالایی کمترین میزان خطا وجود دارد. قیاس شکل ۵-الف و مدل تئوری آن در MATLAB نشان می‌دهد که دستگاه

به منظور بررسی دقیق تر خطا در نواحی بین برآمدگی‌ها، در بستر دوم نیمکره‌های سیمانی با آرایش غیرمتراکم جایگذاری شدند و مدل رقومی آنها با دستگاه کینکت تهیه گردید؛ نتایج این بررسی در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۶-الف، مدل رقومی تهیه شده با دستگاه کینکت و در شکل ۶-ب، اختلاف مدل این مدل رقومی با مدل تئوری دیده می‌شود که قبلاً به کمک برنامه MATLAB توسعه داده شده است.

طبق نتایج به دست آمده از برنامه MATLAB، میزان متوسط خطای مطلق در این حالت برابر با ۱/۴۲ میلی‌متر و متوسط خطای نسبی برابر با ۲۸/۷۲ درصد، و انحراف از معیار متوسط خطا برابر با ۰/۱۱۲ میلی‌متر است. مشاهده می‌شود در قیاس با مقادیر به دست آمده از بررسی گوی‌های سیمانی به هم چسبیده، مقدار خطای مطلق و انحراف معیار کاهش یافته است، اما خطای نسبی افزایش مقادیر را نشان می‌دهد.

$$AMnEr = \sum_{i=1}^n (Z_R - Z_{th})_i \quad (1)$$

$$RMnEr = \sum_{i=1}^n \frac{(Z_R - AMnEr)_i}{Z_{th_i}} \quad (2)$$

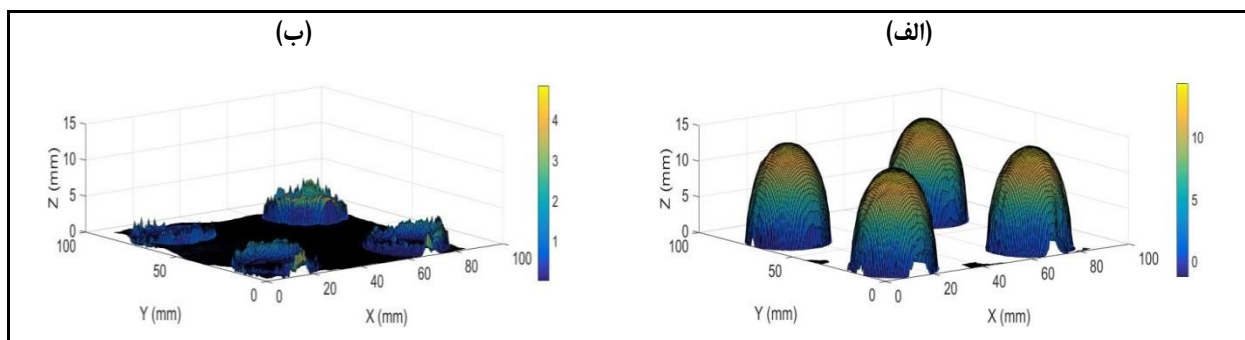
$$SdEr = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_R - AMnEr)^2} \quad (3)$$

که در آنها،

$AMnEr$ = خطای مطلق؛ $RMnEr$ = خطای

نسبی؛ Z_R = مقدار اندازه‌گیری شده ارتفاع توسط کینکت؛ Z_{th} = مقدار واقعی ارتفاع نقطه بستر؛ و n تعداد نقاط موجود.

بررسی‌های کمی حاصل از این شکل نشان‌دهنده این مطلب است که میزان متوسط خطای مطلق و نسبی برای مدل رقومی به دست آمده از نیمکره‌های سیمانی به ترتیب برابر با ۱/۵۸ میلی‌متر و ۲۱/۹۵ درصد و میزان انحراف از معیار خطا در این حالت ۰/۱۳۸۲ میلی‌متر است.



شکل ۶- مدل رقومی بستر دارای نیمکره‌های سیمانی با آرایش غیرمتراکم

الف) مدل رقومی تهیه شده از بستر با دستگاه کینکت و ب) اختلاف دو مدل رقومی و تئوری

Fig. 6. Digital model of the bed with a non-dense arrangement of cement hemispheres

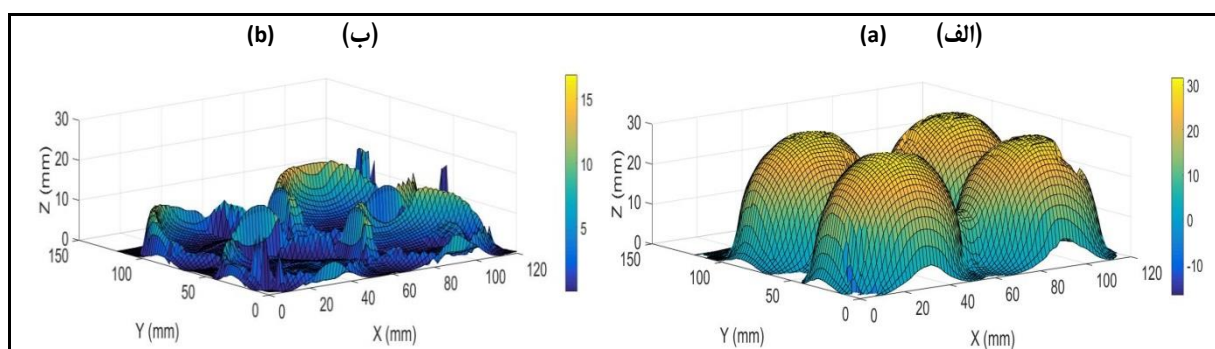
a) Digital model made of bed with Kinect device and b) The difference between the digital and theory models

مدل رقومی و تئوری (شکل ۶-ب) نشان داده شده است. در شکل ۶، نیمکره‌های پلاستیکی با ابعاد بزرگ‌تر نسبت به نیمکره‌های سیمانی نمایش داده شده در شکل‌های ۵ و ۶ در نظر گرفته شدند، تا اثر

به منظور بررسی اثر ابعاد اجزای تشکیل‌دهنده بستر بر میزان خطای دستگاه کینکت، صحت‌سنجی مدل رقومی بستر دارای نیمکره‌های پلاستیکی با قطر قاعده ۶۰ میلی‌متر (شکل ۶-الف) و مقایسه دو

دارای اجسام با شکل‌های هندسی منظم، نتایج به- دست آمده از بسترهای شنی مصنوعی متشکل از سنگدانه‌های طبیعی با آرایش‌های متراکم و غیرمتراکم بررسی شد. پیشتر اشاره شد که برای صحت‌سنجی این بسترها، از مدل رقومی تهیه شده از دستگاه اسکن سه بعدی سلوشن آی ایکس، استفاده شده است. در شکل ۸ مدل رقومی تهیه شده از بستر مصنوعی با آرایش متراکم با دستگاه کینکت (شکل ۸-الف) و مدل رقومی تهیه شده از دستگاه اسکن سه بعدی (شکل ۸-ب) و اختلاف دو مدل رقومی تهیه شده (شکل ۸-ج) نشان داده شده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد میزان متوسط خطای مطلق و نسبی در این حالت به ترتیب برابر با ۳/۹۴ میلی‌متر و ۳۷/۵۶ درصد و میزان انحراف از معیار خطا برابر با ۰/۵۸۴۰ میلی‌متر است که از رابطه‌های معرفی شده در بالا محاسبه شدند. مشاهده می‌شود که میزان خطا در بسترهای طبیعی به‌طور متوسط افزایش پیدا کرده و انحراف معیار نتایج در این شرایط دو برابر انحراف معیار در شرایط مدل رقومی بستر با شکل منظم است.

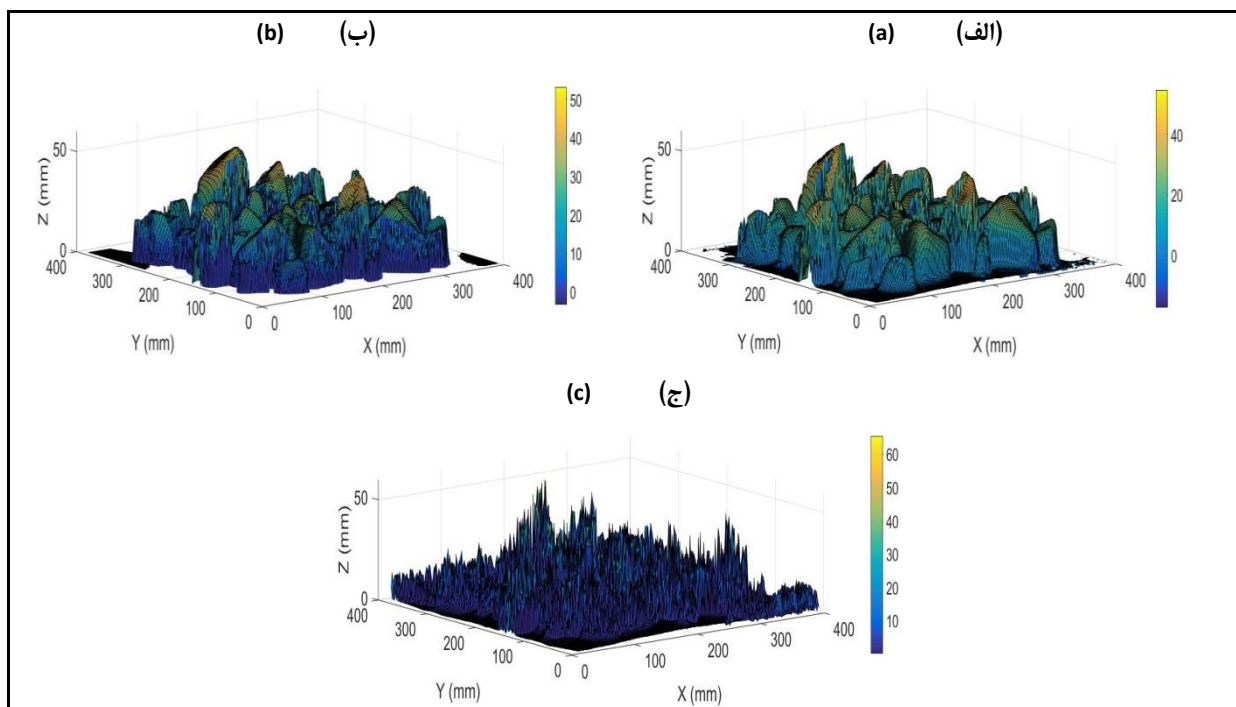
بزرگ‌تر شدن ابعاد نیمکره‌های برداشت شده با کینکت بر نتایج به دست آمده را به خوبی نمایش دهد. از نظر کیفی به نظر می‌رسد با افزایش ابعاد اجزای زیر بستر، خطای حاصل از کینکت کاهش می‌یابد. نتایج کمی حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد در این حالت میزان متوسط خطای مطلق و نسبی به ترتیب برابر با ۲/۵۸ میلی‌متر و ۱۶/۸۷ درصد و میزان انحراف از معیار خطا برابر با ۰/۲۹۸۰ میلی‌متر است که طبق رابطه‌های معرفی شده در بالا محاسبه شدند. مشاهده می‌شود که خطای مطلق افزایش اما خطای نسبی کاهش یافته است. بر این اساس می‌توان گفت که با افزایش ابعاد اجزای زیر بستر، خطای نسبی کاهش اما مقدار انحراف معیار افزایش پیدا کرده است. دلیل تفاوت در نتایج حاصل از این آزمایش‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در جنس مصالح به کار رفته در ساخت نیمکره‌ها باشد. به بیان دقیق‌تر، نیمکره‌های بزرگ‌تر از جنس پلاستیک و زرد رنگ زرد و نیمکره‌های کوچک‌تر سیمانی هستند. البته بررسی دقیق‌تر این موضوع نیاز به بررسی بیشتر دارد. پس از صحت‌سنجی بسترهای



شکل ۷- مدل رقومی بستر دارای نیمکره‌های پلاستیکی

(الف) مدل رقومی تهیه شده از بستر با دستگاه کینکت و (ب) اختلاف دو مدل رقومی و تئوری

Fig. 7- Digital model of the bed with a non-dense arrangement of plastic hemispheres
a) Digital model made of bed with Kinect device and b) The difference between the digital and theory models



شکل ۸- مدل رقومی بستر شنی مصنوعی متراکم

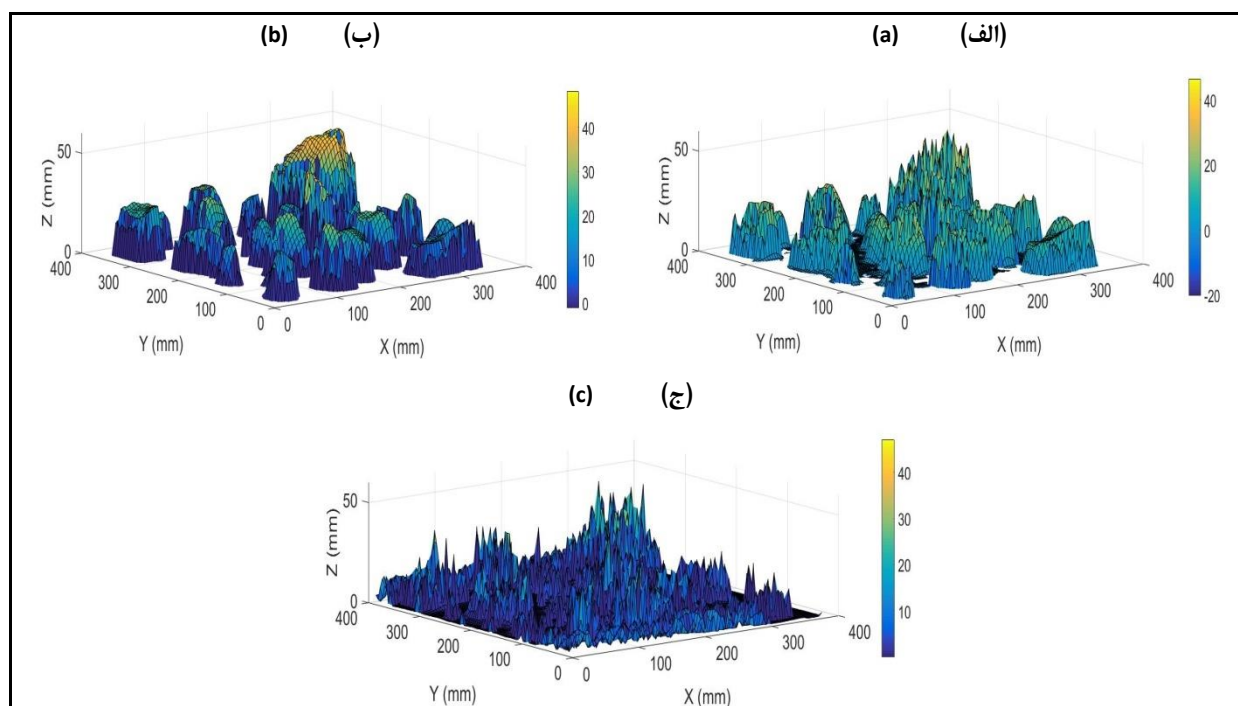
الف) مدل رقومی تهیه شده از بستر بادستگاه کینکت، ب) مدل رقومی تهیه شده با دستگاه اسکن سه بعدی و ج) اختلاف دو مدل رقومی

Fig. 8. Digital model of the bed with a dense arrangement of artificial sand

a) Digital model made of bed with Kinect device, b) Digital model made with 3D scanner and c) The difference between two digital models

مدل رقومی (شکل ۹-ج) نشان داده شده است. تحلیل‌های صورت گرفته روی این بستر در برنامه MATLAB نشان‌دهنده آن است که میزان متوسط خطای مطلق و نسبی در این حالت برابر با ۲/۴۷ میلی‌متر و ۴۱/۱۸۷۱ درصد و میزان انحراف از معیار خطا ۰/۵۲۳۶ میلی‌متر است که طبق رابطه‌های معرفی شده در بالا محاسبه شدند.

به‌منظور بررسی اثر فاصله سنگ‌دانه‌های شنی بر دقت و خطای دستگاه کینکت، باید مدل رقومی بستر در شرایط سنگ‌دانه‌های با فاصله نیز تهیه شود. در شکل ۹، مدل رقومی تهیه شده برای بستر مصنوعی با آرایش غیرمتراکم (شکل ۹-الف)، مدل رقومی تهیه شده از دستگاه اسکن سه بعدی برای آن (شکل ۹-ب) و نتیجه حاصل از قیاس این دو



شکل ۹- مدل رقومی بستر شنی مصنوعی غیر متراکم: (الف) مدل رقومی تهیه شده از بستر با دستگاه کینکت، (ب) مدل رقومی تهیه شده با دستگاه اسکن سه بعدی، (ج) اختلاف دو مدل رقومی

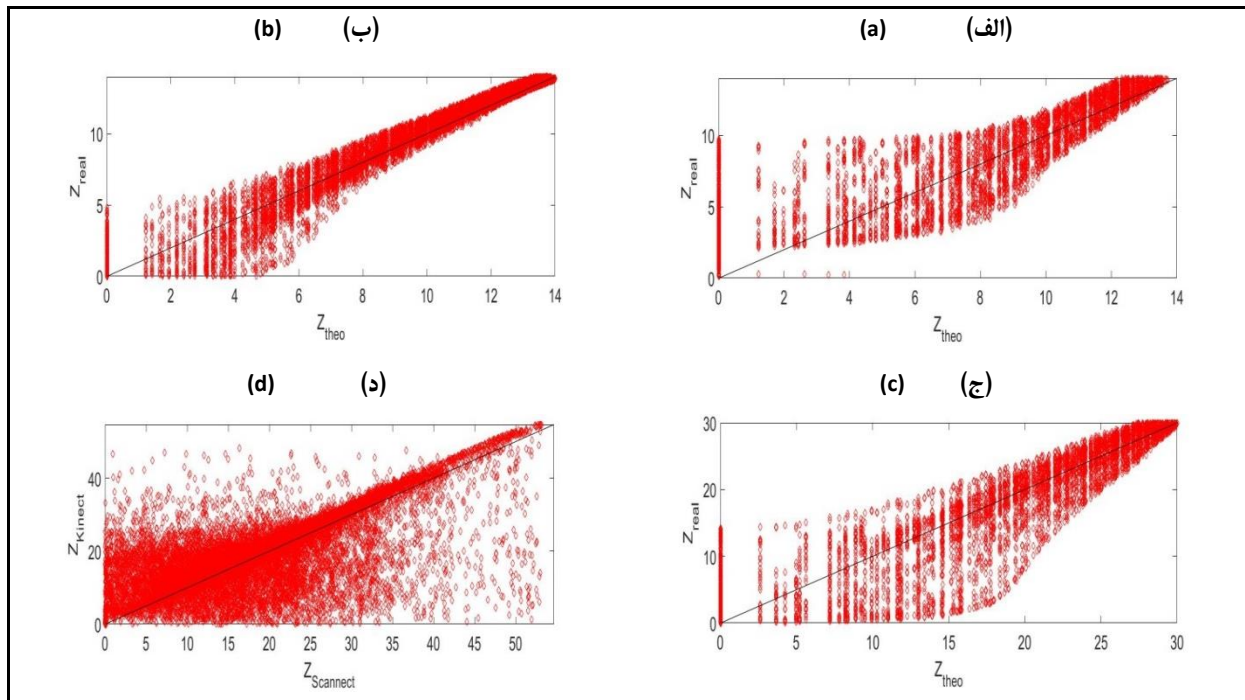
Fig. 9. Digital model of the bed with a non-dense arrangement of artificial sand: (A) Digital model made of bed with Kinect device; (B) Digital model made with 3D scanner; (C) The difference between two digital models

دستگاه کینکت در قیاس با مقادیر واقعی هستند. تراکم نقاط حول خط نیمساز نشان‌دهنده کم شدن خطا و نزدیک شدن مقادیر ارتفاعی در مدل رقومی و مدل واقعی است. در شکل ۱۰ مشخص است که در تمامی نمودارها میزان پراکندگی در پستی‌ها بیشتر است و با افزایش ارتفاع، به تدریج از شدت پراکندگی کاسته می‌شود، بیشترین دقت مربوط به نقاط در ارتفاعات بالایی یا لایه سطحی بستر است. مشاهده می‌شود که مقادیر ارتفاعی مدل رقومی به دست آمده برای نیمکره‌های کوچک‌تر (شکل ۱۰-الف) در پستی‌های بستر بیشتر از مقادیر واقعی و برای نیمکره‌های بزرگ‌تر (شکل ۱۰-ج) کمتر از مقادیر واقعی است که این موضوع نشان‌دهنده تأثیر اندازه سنگدانه‌ها در میزان دقت مدل رقومی به دست آمده است. میزان پراکندگی نقاط حول نیمساز در بستر مصنوعی با آرایش متراکم (شکل ۱۰-د) بسیار

به‌منظور بررسی بیشتر عملکرد دستگاه کینکت در تهیه مدل رقومی بسترها، نمودار پراکندگی مدل‌های رقومی تهیه شده از چهار بستر اشاره شده (بسترهای دارای اجسام با اشکال هندسی منظم شامل نیمکره‌های سیمانی با آرایش متراکم و غیرمتراکم و نیمکره‌های پلاستیکی و بستر مصنوعی با آرایش متراکم) با کمک برنامه MATLAB تهیه شدند (شکل ۱۰). در این نمودار، خط نیمساز نشان‌دهنده تطابق ارتفاع نقاط در مدل رقومی و مدل تئوری (در خصوص بسترهای مصنوعی مدل رقومی تهیه شده از دستگاه اسکن سه بعدی) است. تراکم نقاط در قسمت فوقانی خط نیمساز نشان‌دهنده بیشتر بودن مقادیر ارتفاعی در مدل رقومی تهیه شده با دستگاه کینکت از مقادیر واقعی آنها، و پراکندگی نقاط در پایین خط نیمساز نشان‌دهنده کمتر بودن مقادیر ارتفاعی مدل رقومی

به‌طور کلی، از نمودارها مشخص می‌شود که میزان دقت مدل رقومی تهیه شده از دستگاه کینکت در پستی‌ها کمتر است تا در ارتفاعات بالایی و سطحی بسترها.

بیشتر است تا در بستر با آرایش غیرمتراکم. دلیل این موضوع را می‌توان وجود فضای خالی در بین سنگدانه‌ها در بستر مصنوعی با آرایش غیرمتراکم دانست.



شکل ۱۰- نمودار پراکندگی (برحسب میلی‌متر):

(الف) بستر دارای نیمکره‌های سیمانی با آرایش متراکم، (ب) بستر دارای نیمکره‌های سیمانی با آرایش غیرمتراکم،

(ج) بستر دارای نیمکره‌های پلاستیکی و (د) بستر شنی مصنوعی متراکم

Fig. 10- Scattering diagram (in millimeters)

a) A bed consisting of cement hemispheres with a dense arrangement, b) A bed consisting of cement hemispheres with a non-dense arrangement, c) A bed consisting of plastic hemispheres and d) Artificial sand bed with dense arrangement

دارد و با افزایش این مقدار، میزان خطای نسبی کاهش می‌یابد. روشن است، در این حالت خطای نسبی برای نیمکره‌های بزرگ‌تر، به‌دلیل افزایش میزان متوسط ارتفاع تئوری، نسبت به نیمکره‌های کوچک‌تر، کاهش یابد.

در بستر مصنوعی با آرایش غیرمتراکم نیز میزان متوسط ارتفاع تئوری به‌دلیل افزایش فاصله‌ها بین سنگدانه‌ها، نسبت به بستر مصنوعی با آرایش متراکم، کاهش یافته و بنابراین میزان متوسط خطای نسبی افزایش یافته است. با توجه به بررسی‌ها و صحت‌سنجی‌ها، از مدل‌های رقومی تهیه شده از

برای تعیین دقت دستگاه کینکت در بسترهای مختلف، مقادیر متوسط خطای مطلق و نسبی و همچنین انحراف از معیار متوسط خطا در پنج بستر مورد مطالعه، در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در بسترهای متشکل از نیمکره‌های کوچک و بزرگ مشاهده می‌شود، اگرچه میزان متوسط خطای مطلق در بستر حاوی نیمکره‌های کوچک‌تر کمتر است، مقدار متوسط خطای نسبی در آنها بیشتر است. دلیل این مسئله را باید در رابطه محاسبه خطای نسبی جستجو کرد؛ در مخرج این رابطه (رابطه ۲)، مقدار متوسط ارتفاع تئوری قرار

بسترهای دارای اجسام با شکل‌های هندسی منظم و بسترهای مصنوعی ساخته شده با آرایش متراکم و غیرمتراکم در محیط آزمایشگاه، و با توجه به مقادیر متوسط خطای مطلق و نسبی آنها که برای بسترهای دارای شکل‌های هندسی

حدود ۲ میلی‌متر و بسترهای مصنوعی حدود ۴ میلی‌متر در فاصله برداشت ۱ متر است، توجیه کافی برای دنبال کردن مطالعات میدانی و تهیه مدل رقومی بستر طبیعی رودخانه شنی به دست آمد.

جدول ۱- مقایسه تعداد ابر نقاط تشکیل شده در دو بستر برداشت شده از رودخانه کردان

Table 1- Comparison of the number of clouds formed in two beds taken from the Kordan River			
متوسط خطای نسبی (درصد)	انحراف از معیار متوسط خطا (میلی‌متر)	متوسط خطای مطلق (میلی‌متر)	نوع بستر / پارامتر
Average relative Error (%)	Deviation from Average Error (mm)	Deviation from Average Error (mm)	Bed Type/ Parameter
21.95	0.14	0.14	بستر متشکل از نیمکره‌های سیمانی با آرایش متراکم با قطر قاعده ۲۸ میلی‌متر A bed consisting of 28 mm-diameter cement hemispheres with a dense arrangement
28.72	0.11	0.11	بستر متشکل از نیمکره‌های سیمانی با آرایش غیرمتراکم با قطر قاعده ۲۸ میلی‌متر A bed consisting of 28 mm-diameter cement hemispheres with a non-dense arrangement
16.87	0.30	0.30	بستر متشکل از نیمکره‌های سیمانی با آرایش متراکم با قطر قاعده ۶۰ میلی‌متر A bed consisting of 60 mm-diameter cement hemispheres with a dense arrangement
37.56	0.58	0.58	بستر شنی مصنوعی با آرایش متراکم A bed with a dense arrangement of artificial sand
85.19	0.57	0.57	بستر شنی مصنوعی با آرایش غیر متراکم A bed with a non-dense arrangement of artificial sand

کیفیت در مدل رقومی تهیه شده، میزان ابر نقاط ساخته شده از نواحی مختلف بستر مورد مطالعه است. در این برداشت، نمونه و دستگاه کینکت هر دو زیر سایه مصنوعی ایجاد شده با یک چتر تیره قرار داشتند. اما در سایت دوم، اگرچه مانند سایت اول از چتر تیره استفاده شد اما موقعیت برداشت در محدوده تابش مستقیم خورشید قرار داشت. از این‌رو، قرار نگرفتن دستگاه کینکت در سایه، مدل رقومی ساخته شده را بی‌کیفیت کرده به نحوی که در

در بخش دوم مطالعات، یعنی بررسی‌های میدانی، مدل‌های رقومی تهیه شده از بستر طبیعی رودخانه کردان به‌عنوان یک بستر شنی، بررسی و تحلیل شد. در شکل ۱۱، بسترهای انتخاب شده از رودخانه کردان در دو سایت مختلف در یک بازه ۵۰۰ متری نشان داده شده است. در این شکل مشخص است که مدل رقومی ساخته شده در برداشت اول (شکل ۱۱-ب) به لحاظ کیفیت و وضوح دقت بیشتری دارد. یادآوری می‌شود منظور از

برخی نواحی اصلاً ابر نقاطی تشکیل نشده است (شکل ۱۱-۵). میزان ابر نقاط تشکیل شده در دو بستر انتخابی از رودخانه در بازه مورد مطالعه، در جدول ۲ نمایش داده شده است. با وجود یکسان بودن میدان دید، تعداد نقاط افقی و عمودی تشکیلی در بستر اول بیشتر است تا در بستر دوم.

جدول ۲- مقایسه تعداد ابر نقاط تشکیل شده در دو بستر برداشت شده از رودخانه کردان

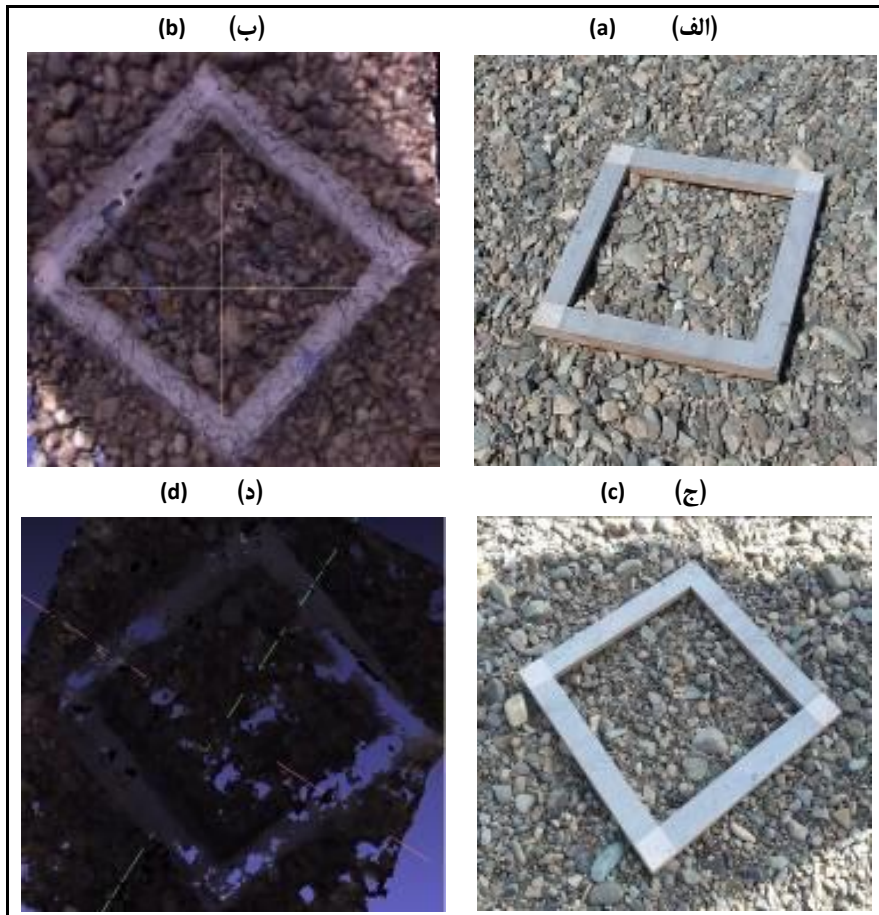
Table 2- Comparison of the number of clouds formed in the two beds taken from the Kordan river

بستر دوم Bed 2	بستر اول Bed 1	پارامتر Parameter
60	60	میدان دید (FOV) به درجه Field of vision (FOV) in degrees
179291	220779	تعداد نقاط عمودی (Vertices) Number of vertical points (Vertices)
335486	425070	تعداد نقاط سطحی (Face) Number of surface points (Face)

شنی مصنوعی ساخته شده با آرایش متراکم، در یک روز ابری-بارانی با دستگاه کینکت ساخته شد. در شکل ۱۲ نشان داده شده است که با توجه به وجود ابر (که باعث کاهش پرتو فرسرخ موجود در نور خورشید می شود)، مدل رقومی تهیه شده با دستگاه کینکت کیفیت بالاتری دارد. بنابراین می توان گفت با توجه به اثر پرتو فرسرخ (مادون قرمز) موجود در نور خورشید، مدل رقومی برداشت شده در بستر رودخانه، اگرچه می تواند در تحلیل ها از لحاظ کیفی بررسی شود، اما از لحاظ کمی اطلاعات قابل استنادی به دست نمی دهد.

در بروز خطا و کیفیت نامناسب مدل رقومی تهیه شده از بستر طبیعی رودخانه ها با دستگاه کینکت، دلایل مختلفی مؤثرند. از جمله این دلایل می توان به ناکارایی این دستگاه در فضای باز زیر نور خورشید اشاره کرد. کار دستگاه کینکت مبتنی است بر استفاده از پرتو فرسرخ (مادون قرمز)، از این رو وجود این پرتو در نور خورشید باعث افت کارایی این دستگاه در فضای باز می شود.

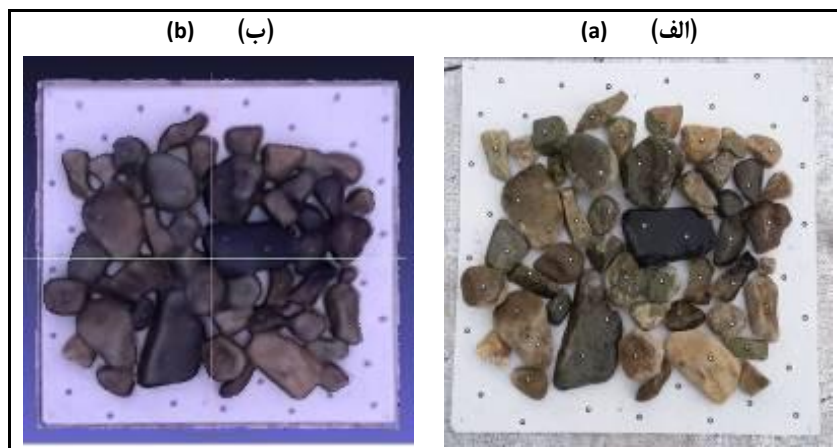
برای بررسی دقیق تر میزان تأثیرگذاری پرتو فرسرخ (مادون قرمز) موجود در نور خورشید در کیفیت مدل رقومی تهیه شده، مدل رقومی بستر



شکل ۱۱- مدل رقومی تهیه شده با دستگاه کینکت در مطالعات میدانی: الف) بستر رودخانه کردن در سایت اول، ب) مدل رقومی برداشت شده از سایت اول، ج) بستر رودخانه کردن در سایت دوم، د) مدل رقومی برداشت شده از سایت دوم

Fig. 11- Digital model made by Kinect device in field studies

a) Kordan river bed on site 1, b) Digital model taken from site 1, c) Kordan river bed on site 2 and d) Digital model taken from site 2



شکل ۱۲- مدل رقومی تهیه شده با کینکت در هوای ابری-بارانی

الف) نمایی از بستر شن مصنوعی و ب) مدل رقومی برداشت شده از بستر شن مصنوعی با کینکت

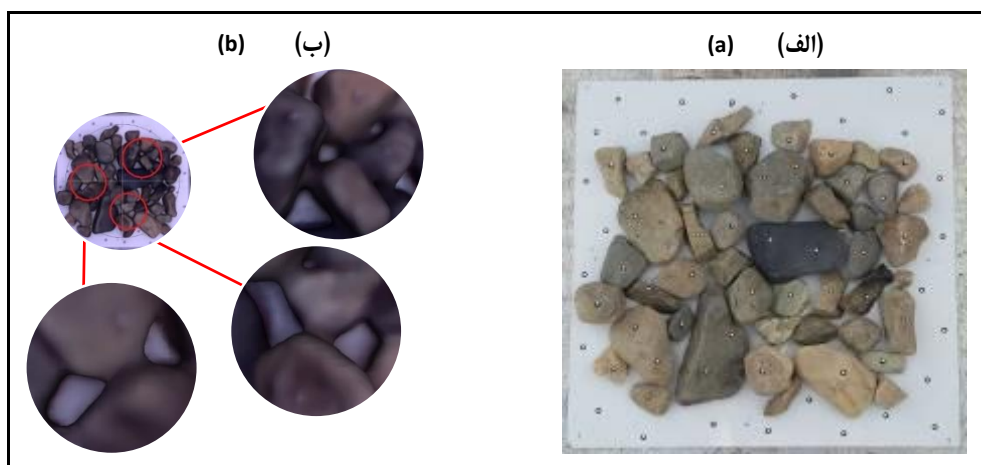
Fig. 12- Digital model made with Kinect in cloudy-rainy weather:

a) A view of artificial sand bed and b) Digital model taken from artificial sand bed with Kinect

شرایط آب و هوایی ابری-بارانی باشد. از آنجا که اصول کار دستگاه کینکت بر پایه پرتو مادون قرمز است و برخلاف روش‌های رایج در فتوگرامتری، کنترل نور محیط تأثیری در کیفیت مدل‌های رقومی تهیه شده ندارد، برداشت‌ها می‌تواند به ساعاتی موکول شود که نور مستقیم خورشید وجود ندارد. از اتافک تاریک (مانند چادر برزنتی) هم می‌توان استفاده کرد.

از دلایل دیگر بروز خطا، فضا‌های کوچک محصور بین سنگدانه‌هاست که دقت دستگاه کینکت را در تهیه مدل رقومی پایین می‌آورد (شکل ۱۳). در واقع، فضا‌های بین سنگدانه‌ها در بسترهای شنی مقادیر ارتفاعی ندارند و صرفاً حفره به‌شمار می‌روند (شکل ۱۳-الف)؛ اما در مدل‌های رقومی تهیه شده با کینکت، به این فضاها مقادیر ارتفاعی نسبت داده شده که منجر به افزایش مقادیر متوسط خطای نسبی در مدل‌های رقومی تهیه شده می‌گردد (شکل ۱۳-ب).

با توجه به هدف این مطالعه که بررسی خصوصیات آماری بسترهای رودخانه‌های شنی با استفاده از رویکرد نوین ارتفاع نقاط تصادفی است، تشکیل مدل‌های رقومی از بسترهای شنی رودخانه‌ها و ابر نقاط آنها به‌منظور استخراج پارامترهای آماری مورد نظر، ضروری است؛ از این‌رو تهیه ابر نقاطی با کیفیت و دقیق به افزایش دقت مدل‌ها و پارامترهای آماری استخراج شده می‌انجامد. بدین منظور، ضروری است تا در برداشت‌های میدانی عوامل بروز خطا و کاهش کیفیت (به‌دلیل وجود پرتوهای مادون قرمز در نور خورشید) در مدل رقومی تهیه شده کاهش یابند. مشاهدات نشان می‌دهد که ایجاد سایه به تنهایی کافی نیست و لازم است تا علاوه بر محیط مورد برداشت، دستگاه کینکت و فاصله بین دستگاه و بستر در سایه قرار داشته باشند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد برای به‌حداقل رساندن تأثیرگذاری نور خورشید در تهیه مدل‌های رقومی با دستگاه کینکت، می‌توان برداشت‌ها را به روزهایی موکول کرد که



شکل ۱۳- خطای مدل رقومی تهیه شده با دستگاه کینکت

الف) تصویری از بستر مصنوعی شنی در حالت واقعی و ب) مدل رقومی ساخته شده با دستگاه کینکت و اختصاص مقادیر ارتفاعی به فواصل بین سنگدانه‌ها

Fig. 13- Error of digital model provided by Kink device

a) Image of sandy artificial ground in real state and b) Digital model made by Kinect device and assigning height values to the intervals between aggregates

نتیجه‌گیری

برای بررسی کاربرد و قابلیت دستگاه کینکت در تعیین مدل رقومی بسترهای شنی، ابتدا قابلیت این دستگاه در بستر مصنوعی متشکل از نیمکره‌های منظم کوچک و بزرگ و سنگ‌دانه‌های شنی متراکم و غیرمتراکم بررسی و تحلیل شد و نتایج زیر به دست آمد:

- میزان متوسط خطای مطلق کم برای بسترهای حاوی شکل‌های هندسی منظم (در این مطالعه نیمکره) که در حدود ۲ میلی‌متر برآورد شد و میزان متوسط خطای مطلق قابل قبول برای بسترهای مصنوعی با آرایش متراکم و غیرمتراکم (کمتر از ۴ میلی‌متر)، حکایت از قابلیت این دستگاه دارد برای استفاده در محیط آزمایشگاه به منظور تهیه مدل‌های رقومی در تعیین زبری بستر به کمک تحلیل‌های آماری.

- دو پارامتر، یکی پرتوهای فروسرخ (مادون قرمز) در فضای باز و نور خورشید و دیگری سایه در فضای

خالی بین سنگ‌دانه‌ها در افزایش خطای مدل رقومی تهیه شده با دستگاه کینکت در مطالعات میدانی تأثیرگذار هستند. کنترل و کاهش این پرتوهای خورشید و قرارگیری هم‌زمان بستر مورد مطالعه و دستگاه کینکت و همچنین فاصله بین این دو در سایه، می‌تواند منجر به افزایش دقت و کیفیت مدل رقومی تهیه شده و در نهایت استنتاج مشخصات آماری دقیق‌تری از بستر گردد. پیشنهاد دیگر، ایجاد اتاقک تاریک یا برداشت در شرایط آب و هوایی ابری-بارانی است.

- بررسی‌ها نشان می‌دهد دستگاه کینکت می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های قدیمی مانند اندازه‌گیری با لیزر و گیج نقطه‌ای به منظور تهیه مدل‌های رقومی بسترهای شنی در محیط آزمایشگاهی باشد. با این همه، کاربرد این دستگاه به منظور دسترسی به اطلاعات کمی قابل استناد، مستلزم مطالعات بیشتر در این زمینه است.

مراجع

- Aberle, J., & Nikora, V. (2006). Statistical properties of armored gravel bed surfaces. *Water Resources Research*, 42(W11414), pp. 1-11.
- Bento, A. M., Couto, L., Pêgo, J. P., Viseu, T. (2018). *Advanced characterization techniques of the scour hole around a bridge pier model. River Flow 2018 - Ninth International Conference on Fluvial Hydraulics*, 40. Sept. 5-8, Lyon-Villeurbanne, France. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184005066>.
- Biggs, B. J. F., & Close M. E. (1989). Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flows and nutrients. *Freshwater Biology*, 22(2), pp. 209-231.
- Butkiewicz, T. (2014). Low-cost Coastal Mapping using Kinect v2 Time-of-Flight Cameras. Sept. 14-19, 2014 Oceans - St. John's. St. John's, NL, Canada. doi:10.1109/OCEANS.2014.7003084.
- Chavez, G. M., Sarocchi, D., Santana, E. A., & Borcelli, L. (2014). Using Kinect to analyze pebble to block-size clasts in sedimentology. *Computers and Geosciences*, 72, pp. 18-32.

- Hauer, R. F., Locke, H., Dreitz, V. J., Hebblewhite, M., Lowe, W. H., Muhlfeld, C. C., Nelson, C. R., Proctor, M. F., & Rood, S. B. (2016). Gravel-bed river floodplains are the ecological nexus of glaciated mountain landscapes. *Science Advances*, 2(6): pp. 1-13.
- Kalinkova, V., Chytry, K., & Chytry, M. (2018). Early vegetation succession on gravel bars of Czech Carpathian streams. *Folia Geobot*, 53(3), pp. 317-332.
- Keramaris, E., & Pechlivanidis, G. (2015). The influence of transition from vegetation to gravel bed and vice versa in open channels using the PIV method. *Water Utility Journal*, 10, pp. 37-43.
- Khoshelham K., & Elbernik S. O. (2012). Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications. *Sensors*, 12, pp. 1437-1454.
- Klopfer F., Hämmerle M., & Höfle B. (2017). Assessing the Potential of a Low-Cost 3-D Sensor in Shallow-Water Bathymetry. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, doi:10.1109/LGRS.2017.2713991
- Kondolf, G. M., Sale, M. J., & Wolman, M. G. (1993). Modification of fluvial gravel size by spawning salmonids. *Water Resources Research*, 29(7), pp. 2265-2274.
- Mankoff, K. D., & Russo, T. A. (2012). The Kinect: a low-cost, high-resolution, short-range 3D camera. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(9), pp. 926-936.
- Masoodi, A., Noorzad, A., Majdzadeh-Tabatabai, M. R., & Samadi, A. (2018). Application of short-range photogrammetry for monitoring seepage erosion of riverbank by laboratory experiments. *Journal of Hydrology*, 558, pp. 380-391.
- Mohajeri, S. H., Grizzi, S., Righetti, M., Romano, G. P., & Nikora, V. (2014). The structure of gravel-bed flow with intermediate submergence: a laboratory study. *Journal of Water Resources Research*, 51(11), pp. 9232-9255.
- Nicholson, L. I., Pętllicki, M., Parton, B., & Macdonell, S. (2016). 3D surface properties of glacier penitentes over an ablation season, measured using a Microsoft Xbox Kinect. *The Cryosphere*, 10, pp. 1897-1913.
- Nikora, V. I., Goring, D. G., & Biggs, B. F. (1998). On gravel-bed roughness characterization. *Water Resources Research*, 34, pp. 517-527.
- Pagliari, D., & Pinto, L. (2015). Calibration of Kinect for Xbox one and comparison between the two generations of microsoft sensors. *Sensors*, 15(11), pp. 27569-27589.
- Quinn, J. M., & Hicher, C. W. (1994). Hydraulic parameters and benthic invertebrate distributions in two gravel-bed New Zealand rivers. *Freshwater Biology*, 32(3), pp. 489-500.
- Toselli, F., De Lillo, F., Onorato, M., & Boffetta, G. (2019). Measuring surface gravity waves using a Kinect sensor. *European Journal of Mechanics / B Fluids*, 74, pp. 260-264.
- Wharton, G., Mohajeri S. H., & Righetti M. (2017). The pernicious problem of streambed colmation: a multi-disciplinary reflection on the mechanisms, causes, impacts, and management challenges. *Wires Water*, 4(5), pp. 1-17. doi: 10.1002/wat2.1231.

Zamani, P., Mohajeri, S. H., & Samadi, A. (2019). Application of structure from motion (SFM) method to determine bed surface particle size in gravel bed rivers. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(1): pp. 215-230. (in Persian)

An Investigation on the Application of the Kinect Device in Determining the Digital Elevation Model of Gravel Streams in Gravel Scale

(Case study: Kordan Riverbed)

H. Bali, S. H. Mohajeri and A. Samadi*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Sciences and Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: samadi@eng.ikiu.ac.ir

Received: 24 January 2019, Accepted: 20 May 2019

Extended Abstract

Introduction

In recent years, the advancement of computer science helped to examine digital elevation models (DEMs) that are produced in various methods. It is possible to study DEM at different scales. These scales are: 1-fine grain scale, 2-meso scale 3-reach scale, and 4-catchment scale. Determining and studying the digital elevation model of the bed in each of these scales is important. Today, the advances achieved in computer science and its combination with engineering sciences, including river engineering, have led to new approaches in this field. One of the most widely used devices is the Kinect. The use of the Kinect for scientific purposes was first introduced in 2013 by David Monkoff as a cheap, high-precision instrument to produce three-dimensional models that could be used in a wide range of scientific studies such as geology, geomorphology and bathymetry (Mankoff & Russo, 2012). In this study, the ability of Kinect device to determine the DEM of sand bed in the Kordan River, as a method for determining the roughness of natural riverbed, has been investigated by comparing the average and relative error of DEMs prepared by Kinect and theoretical models.

Methodology

In this study, the Microsoft Kinect Xbox 360 was used to produce a digital elevation model. This device costs about \$100, with a frequency range of 9 to 30 Hz, the accuracy of spatial and elevation data in about a millimeter to a centimeter, and its best performance range between 50 centimeters to 5 meters. This device is capable of producing 3D information with high spatial (x, y) (2 to 20 mm) and high vertical accuracy (z) (error about 1 mm at 50 cm and error about 75 mm at 5 meters). The sensor angle of view is 57 and 43 degrees horizontal and vertical, respectively (Mankoff & Russo, 2012).

The Kinect sensor is capable to capture simultaneously the color and depth images at a frame rate of more than 30 fps (30 frames per second). The incorporation of the depth and color data generates a cloud of color dots, about 300,000 dots per frame, which can consistently increase the density of dots or produce a full cloud of dots by sequential depth images. The minimum

distance for Kinect is about 0.4 meters and the maximum varies between 4 to 5 meters (Khoshelham & Elbernik, 2012; Pagliari & Pinto, 2015).

In this study, the Kinect position was considered at 80 to 120 cm above the bed, so that all the boundaries of the bed were placed at the viewing angle of the Kinect camera, achieving the lowest error rate. In order to investigate the ability of the Kinect device to determine the digital elevation model of the sandy river bed, two laboratory and field sections were defined. Two purposes of this segmentation were to compare the capability of a Kinect device in a laboratory-controlled environment with natural conditions, and to determine optimum conditions for the lab environment to be applied to the field.

The results showed that the absolute error value and standard deviation related to detached cement hemispheres had been less than the figure for hemispheres joint together, however relative error was noticeably more. The results also showed that the error of the Kinect decreased with increasing size of the bed roughness elements.

After having beds with regular geometric shapes been validated, the results of artificial sand beds consisting of natural aggregates with dense and non-dense arrangement were investigated.

It has been observed that the error rate in the natural beds increased on average and the standard deviation of the results was twice as much as of the DEM with regular shape.

It was obviously clear from the graphs that the digital elevation model developed by the Kinect device produced lower accuracy in lowlands than in upper elevations of the beds.

Results and Discussion

Having digital elevation models of artificial and natural beds been developed, the results were analyzed. At the beginning of laboratory investigations, the digital elevation model was examined on a regular basis.

After beds with regular geometric shapes had been validated, the results of artificial sand beds consisting of natural aggregates with dense and non-dense arrangement were investigated.

Conclusions

To investigate the Kinect capability in determining the digital elevation model of sandy beds, its capability in artificial bed -consisting of small and large regular hemispheres and dense and non-dense sandstone aggregates- was first analyzed and the following results were obtained:

1. The results indicated that this device was capable to generate digital elevation models for determination of bed roughness using statistical analysis in laboratory environment.
2. Both infrared beams in outdoor spaces in sunlight and shadow in the open spaces among aggregates simply increased the error of the digital elevation model generated by the Kinect device in field studies.
3. Studies showed that the Kinect device could be a reliable replacement for outdated methods such as laser measurements and point gauges for digital elevation modeling of sand beds in laboratory.

Keywords: Digital Elevation Model (DEM), Error Analysis, Gravel-bed River, Point to Point Method